

Муслимов А.П., Куц В.А.

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ
ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

A.P. Muslimov, V.A. Kutz

**DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF THE CUTTING
PROCESS WHEN TURNING**

УДК: 681.: 658.562.3/6

В статье представлены материалы по разработке математической модели процесса резания для создания новой технологии обработки нежестких валов на токарном оборудовании.

In article materials on working out of mathematical model of process of cutting for creation of new technology of processing of soft shaft on the turning equipment are presented.

При обработке нежестких валов система станок – деталь – инструмент оказывается крайне податливой к действию внешних поперечных сил (сил резания), что существенно затрудняет их обработку. Возникающие трудности заключаются главным образом в том, что даже при небольших силах резания упругая система легко деформируется, и при этом образуются большие погрешности обработки. Кроме того, ось вала может быть легко искривлена вследствие перераспределения внутренних напряжений после снятия каждого слоя металла. Во многих случаях, также из-за неустойчивости системы, легко возбуждаются вибрации, которые бывают иногда столь интенсивными, что делают невозможным нормальное выполнение процесса обработки. Актуальность проблемы повышения точности и производительности обработки нежестких деталей очевидна.

Для выполнения поставленной задачи необходимо выбрать оптимальный параметр регулирования, управляя которым можно привести работу системы к наилучшему результату. Размером динамической настройки можно управлять, изменяя силу резания или жесткость. В свою очередь сила резания определяется как функция нескольких аргументов [1]:

$$P = f(C_p, t, s, v, k),$$

где C_p - коэффициент материала и условий обработки;

t - глубина резания;

S - продольная подача;

V - скорость резания;

k - коэффициент, зависящий от геометрии реза.

Таким образом, воздействовать на силу резания можно изменением любого аргумента. Однако выбор в качестве параметра регулирования любого аргумента не равноценен, как с точки зрения повышения точности и производительности, так и практического воплощения.

Управлять силой резания в настоящее время посредством изменения C_p практически неудобно, так как для этой цели требуется менять свойства обрабатываемого материала. Осуществлять управление силой резания посредством изменения величины скорости резания также нецелесообразно ввиду неоднозначной зависимости между ними. Способ управления P через изменение глубины резания обладает следующими существенными недостатками. Величину t можно изменять путем изменения диаметра заготовки или размера статической настройки. Первый способ практически нецелесообразен, так как потребует соответствующего изменения размеров заготовки. Второй недопустим по той причине, что функции $P = f_1(t)$ и $A_c = f_2(t)$ (где A_c – размер статической настройки) различны.

В настоящее время в качестве параметра регулирования широкое распространение получила продольная подача. Преимуществами выбора этого параметра регулирования являются возможность изменения вектора силы резания без изменения размера статической настройки и простота конструктивного решения (на некоторых станках имеется бесступенчатый привод продольной подачи). Следует подчеркнуть одну особенность: при изменении величины продольной подачи вектор силы резания меняется не только по модулю, но и по направлению, так как величина продольной подачи входит в формулы составляющих силы резания с разными степенными показателями.

Для того, чтобы разработать новую технологию обработки нежестких валов на токарном оборудовании, которая не позволит системе станок-деталь-инструмент быть податливой к действию внешних поперечных сил (сил резания) необходимо первоначально изучить процесс резания и составить математическую модель этого процесса, обеспечивающий получение достаточно точных результатов.

Распределение сил резания при точении

Сопrotивление материала резанию преодолевается силой резания. Работа силы резания затрачивается на упругопластическую деформацию металла и отрыв элемента стружки от основной массы металла, а также на преодоление трения на контактных поверхностях режущего инструмента.

В общем случае сила резания разлагается на 3 составляющие P_x, P_y, P_z (рис. 1) [2].

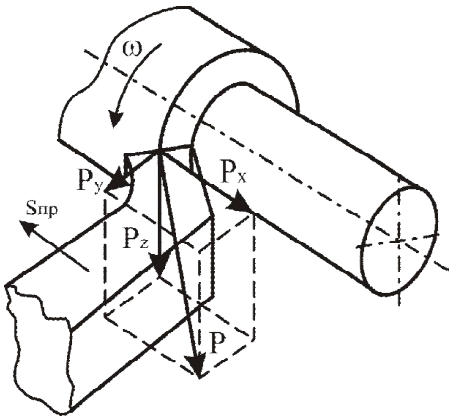


Рис. 1. Разложение силы резания P на три составляющие

где P_x – осевая сила (сила подачи), параллельна оси детали;

P_y – радиальная сила, действующая в плоскости перпендикулярной оси детали;

P_z – тангенциальная сила, действующая в плоскости главного движения.

Три указанные составляющие силы резания взаимно перпендикулярны; поэтому величина и направление равнодействующей силы определяются как диагональ параллелепипеда [1]:

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}. \quad (1)$$

При этом:

- величина силы P_z определяет крутящий момент резания, по которому определяются: мощность станка, параметры зубчатых колес и валов механизма скоростей станка, параметры зуба и корпуса режущего инструмента;

- от величины силы P_y зависят: прогиб обрабатываемой детали и ее точность, параметры деталей механизма поперечной подачи;

- величина силы P_x является исходной для расчета параметров деталей механизма, продольной подачи станка. Кроме этого, составляющие силы резания используются при расчетах параметров шпиндельного узла и жесткости станка [2].

Соотношение величин составляющих сил P_z , P_y , P_x не остается постоянным и зависит от геометрических параметров рабочей части резца, элементов режима резания (v , t , s), износа резца, физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий резания.

Так, например, отношения P_y/P_z и P_x/P_z возрастают с увеличением износа резца; увеличение подачи увеличивает отношение P_x/P_z ; уменьшение главного угла в плане увеличивает отношение P_y/P_z .

В некоторых случаях обработки одной из двух составляющих (P_x или P_y) может и не быть. Например, при разрезке прутка отрезным резцом отсутствует сила P_x ; при подрезке торца трубы резцом с $\varphi = 90^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$ отсутствует составляющая P_y . Сила P_z действует во всех случаях, и поэтому ее часто называют главной составляющей силы резания или просто силой резания.

Нас интересует сила резания P_y , от величины которой и жесткости системы зависит, точность диаметрального размера изделия, что требует разработки математической модели процесса резания.

Математическая модель процесса резания

При составлении математической модели процесса резания, рассмотрим вал как балку, жестко закрепленную на неподвижных опорах (рис. 2). Эта схема обеспечивает получение достаточно точных результатов.

Сумма сил относительно опоры А равна:

$$\sum M_A = 0:$$

$$\sum M_A = P_y(\ell - x) - R_B \ell = 0 \rightarrow R_B = [P_y(\ell - x)]/\ell.$$

Сумма сил относительно опоры В равна: $\sum M_B = 0$:

$$\sum M_B = R_A \ell - P_y(\ell - x) = 0 \rightarrow R_A = [P_y(\ell - x)]/\ell.$$

Рассмотрим два варианта: 1. $0 \leq x \leq \ell/2$; 2. $\ell/2 \leq x \leq \ell$.

Первый вариант: $0 \leq x \leq \ell/2$

$$Q = \sum Y = R_A = [P_y(\ell - x)]/\ell;$$

$$M = \sum M = R_A x = [P_y x(\ell - x)]/\ell.$$

При $x = 0 \rightarrow M = 0$;

при $x = 0,25\ell \rightarrow M = 0,1875P_y \ell$;

при $x = 0,5\ell \rightarrow M = 0,25P_y \ell$.

Второй вариант: $\ell/2 \leq x \leq \ell$

$$Q = \sum Y = R_A - P_y = [P_y(\ell - x)]/\ell - P_y = -(P_y x)/\ell;$$

$$M = \sum M = R_B(\ell - x) = [P_y x(\ell - x)^2]/\ell.$$

При $x = 0,5\ell \rightarrow M = 0,25P_y\ell;$

при $x = 0,75\ell \rightarrow M = 0,0625P_y\ell;$

при $x = \ell \rightarrow M = 0.$

По полученным данным построим эпюры поперечной силы и изгибающего момента (рис. 2).

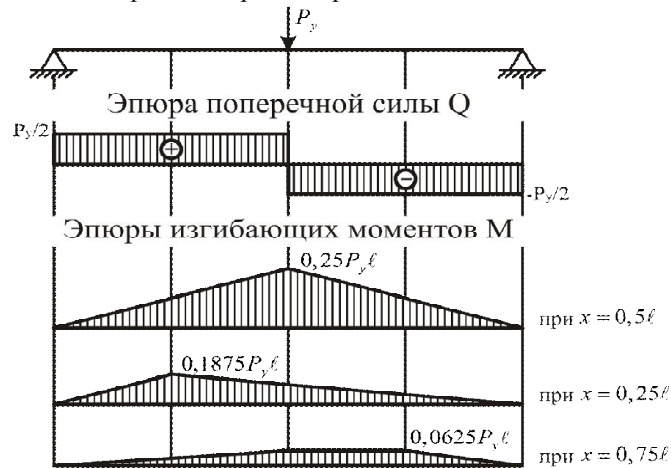


Рис. 2. Расчетная схема

Таким образом, прогиб вала определяется формулой [1]:

$$f = \frac{P_y x^2 (\ell - x)^2}{3EJ\ell}, \quad (2)$$

где E - модуль упругости материала заготовки;

J - момент инерции поперечного сечения обрабатываемого вала, $J = 0,05d^4$;

d - диаметр вала.

$$P_{рез} = \frac{C_p t^{x_p} s^{y_p} g^{n_p} K_p x^2 (\ell - x)^2}{3EJ\ell}, \quad (3)$$

где C_p - удельная сила резания, зависящая от механических свойств обрабатываемого и инструментально-го материалов;

x - координата точки приложения поперечной силы;

K_p - поправочный коэффициент.

Вал является нежестким, если $\ell/d > 10$, где ℓ - длина детали, d - диаметр детали. На рис. 3. показана форма жесткой и нежесткой детали при токарной обработке.

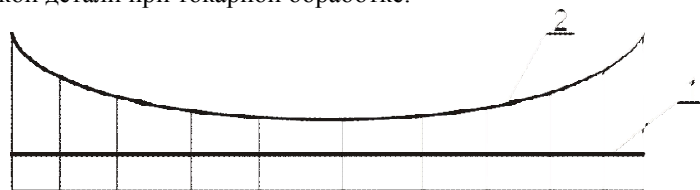


Рис. 3. Кривая искажения формы детали при токарной обработке в центрах:
1 - обработка жесткой детали; 2 - обработка нежесткой детали

Анализ формулы (3) позволяет сделать вывод о возможности управления величиной прогиба вала в процессе обработки нежесткого вала за счет изменения величины подачи S инструмента, что может быть реализовано с помощью компьютерно-микропроцессорного управления ее по программе, составленной с учетом геометрических и физико-механических параметров обрабатываемого изделия.

Использование специально разработанной для этой цели программы с вводом в компьютер различных исходных данных обрабатываемой детали позволяет без перенастройки системы обрабатывать любые изделия типа валов.

Литература:

1. Адаптивное управление станками. Под ред. Б.С. Балакшина. – М.: Машиностроение, 1973.
2. Технология металлов. Под ред. Б.В. Кнорозова. – М.: Металлургия, 1978.

Рецензент: д.т.н., профессор Шамсутдинов М.М.
